

УДК 004

О.О. САФАРОВ

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

АЛГОРИТМ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ

У даній роботі розглянуто особливості процедури підвищення якості та деталізації зображень вегетаційних індексів, отриманих на основі фотограмметричних даних. Запропоновано алгоритм паншарпенінга, що ґрунтується на інтерполяційних операціях над початковими зображеннями та обчисленням ваг для кожного пікселя зображення. Для паншарпенінга використовуються зображення індексу та панхроматичні зображення високої роздільної здатності. Експерименти для індексу NDVI підтвердили застосовність даного алгоритму та переважачу ефективність бікубічної інтерполяції.

Ключові слова: паншарпенінг, вегетаційні індекси, фотограмметрія, бікубічна інтерполяція

А.А. САФАРОВ

Днепро́вский национальный университет имени Олеся Гончара

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАРТ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

В данной работе рассмотрены особенности процедуры повышения качества и детализации изображений вегетационных индексов, полученных на основе фотограмметрических данных. Предложен алгоритм паншарпенинга, основанный на интерполяционных операциях над начальными изображениями и вычислением весов для каждого пикселя изображения. Для паншарпенинга используются изображения индекса и панхроматические изображения высокого разрешения. Эксперименты для индекса NDVI подтвердили применимость данного алгоритма и преобладающую эффективность бикубической интерполяции.

Ключевые слова: паншарпенинг, вегетационные индексы, фотограмметрия, бикубическая интерполяция.

O.O. SAFAROV

Oles Honchar Dnipro National University

THE VISUALIZATION QUALITY IMPROVEMENT ALGORITHM OF VEGETATION INDEX MAPS

In this paper the features of improving quality and detailing procedure for vegetative index images that were obtained on the basis of photogrammetric data were considered. Indexes are widely used in the study of the environment, climate and agriculture. Index images are calculated by arithmetic operations on the pixel brightness values from different image channels. In index images, objects of interest are more contrasting and distinct than on the original images. For quantitative assessment of vegetation, a normalized difference vegetation index (NDVI) is widely used. The red and infrared spectral channels of the photogrammetric image, respectively, are used for its calculation.

Pansharpening operation increases the spatial resolution of multispectral channels due to the use of panchromatic channel data. Pansharpening of such synthetic information as indexes has its peculiarities. The index image is visually less precise than the original ones. The goal is to make it more detailing and distinct. Well-known existing pansharpening algorithms, such as Brovey Transform, are not applicable due to significant color distortions of result image and required weight coefficients for fused bands. There are no known weights for index image pansharpening because its synthetic image. A pansharpening algorithm based on interpolation operations on initial images and weights calculation for each image pixel is proposed. Index images and high-resolution panchromatic images are used for pansharpening. It is also important to consider greater impact of panchromatic image data in calculations due to its sharpness. The resulting matrix is calculated based on the arithmetic mean of the panchromatic matrix and the index matrix, which is interpolated to the panchromatic dimensions. The result of the arithmetic means is multiplied by the synthesized weight matrix, which takes into account all transformations over the initial matrices of data. Experiments for the NDVI index confirmed the applicability of this algorithm and the prevailing efficiency of bicubic interpolation. The proposed algorithm is applicable both for single-channel and multi-channel pansharpening.

Keywords: pansharpening, vegetation indexes, photogrammetry, bicubic interpolation.

Постановка проблеми

Вегетаційні індекси, обчислені на основі фотограмметричних даних, досить широко застосовуються в сільському господарстві для ідентифікації і оцінки стану рослинності, в картографії – для створення карт ландшафтів та природних зон, при моніторингу надзвичайних ситуацій – для визначення ступеня ураження лісних масивів та заповідних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Операція паншарпенінга, яка використовується для підвищення візуальної якості та деталізації мультиспектральних фотограмметричних зображень, розглянута в [1]. Особливостям паншарпенінга, зокрема, вегетаційного індексу NDVI, присвячені роботи [2-3]. Застосування відомих алгоритмів паншарпенінга до зображень індексів призводить до втрати просторової інформації на результуючому зображенні. Отже, питання коректного здійснення паншарпенінга та отримання кращої візуалізації зображення індексу у підсумку є ключовим.

Мета дослідження

Метою роботи є вивчення можливості ефективного паншарпенінга зображень індексів та дослідження особливостей візуалізації отриманого результату, а також порівняння його з традиційним зображенням індексу. На даному етапі найбільш актуальним є дослідження зображення індексу NDVI, як одного з найбільш вживаних, в рамках завдання поліпшення його візуалізації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Мультиспектральні дані супутникової зйомки дозволяють отримати доступ до простого і в той же час потужного інструменту – індексів. Індекси обчислюються шляхом арифметичних операцій над значеннями яскравості пікселя з різних каналів знімка. На індексних зображеннях більш контрастно і яскраво виділяються шукані об'єкти, ніж на вихідних знімках. Індекси широко застосовуються при дослідженні навколишнього середовища, клімату, а також в сільському господарстві. Кількість індексів, які можна розрахувати, залежить від спектральних можливостей сенсора супутника, що здійснював зйомку. Тобто, чим більше каналів – тим більше різних індексів в теорії можна отримати. Однак тут грають роль і особливості даних, що отримуються, та їх затребуваність в тій чи іншій області.

Відбиття рослинного покриву в червоній і ближній інфрачервоній областях електромагнітного спектру тісно пов'язано з його зеленою фітомасою. Для кількісної оцінки стану рослинності широко застосовується нормалізований різницевий вегетаційний індекс, що обчислюється за наступною формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де *NIR* – значення коефіцієнта відбиття в ближній інфрачервоній області спектра, а *RED* – в червоній області спектра.

Даний індекс часто використовується для спостереження посухи, моніторингу та прогнозування сільськогосподарського виробництва. *NDVI* характеризує також щільність рослинності, дозволяє дослідникам оцінити схожість і ріст рослин, продуктивність угідь. Значення *NDVI* змінюються в діапазоні від -1 до 1. У місцях знімка з великим значенням даного індексу (зазвичай, більше 0.7) наявна, як правило, більш густа рослинність. У місцях з низьким значенням, особливо менше нуля, рослинності, як правило, немає. В результаті розрахунку для кожного пікселя зображення, за вищезазначеною формулою, отримується зображення індексу або так звана карта *NDVI*. Для розрахунку застосовуються відповідно червоний та інфрачервоний спектральні канали фотограмметричного зображення, параметри яких можуть дещо варіюватись відповідно до сенсора.

Операція паншарпенінга часто використовується для підвищення візуальної якості і деталізації мультиспектральних фотограмметричних зображень. Вона збільшує просторову роздільну здатність мультиспектральних каналів за рахунок використання даних панхроматичного каналу. Побічним ефектом є можливі колірні спотворення результуючого зображення, які варіюються в залежності від використовуваного алгоритму. Оскільки паншарпенінг по суті спотворює інформацію з метою кращої візуалізації, тому він застосовується в більшості випадків для композитів каналів для підвищення деталізації вихідного композиту. Паншарпенінг такої синтетичної інформації як індекси має свої особливості. Потрібно відзначити, що зображення індексів візуально менш чіткі в порівнянні з вихідними (рис. 1) і цілком логічною є спроба їх зробити більш деталізованими. Окремо слід зазначити, що для результуючої візуалізації вкрай важливою є використовувана палітра. Таким чином, проблема візуального поліпшення зображення індексів є доволі нетривіальною.

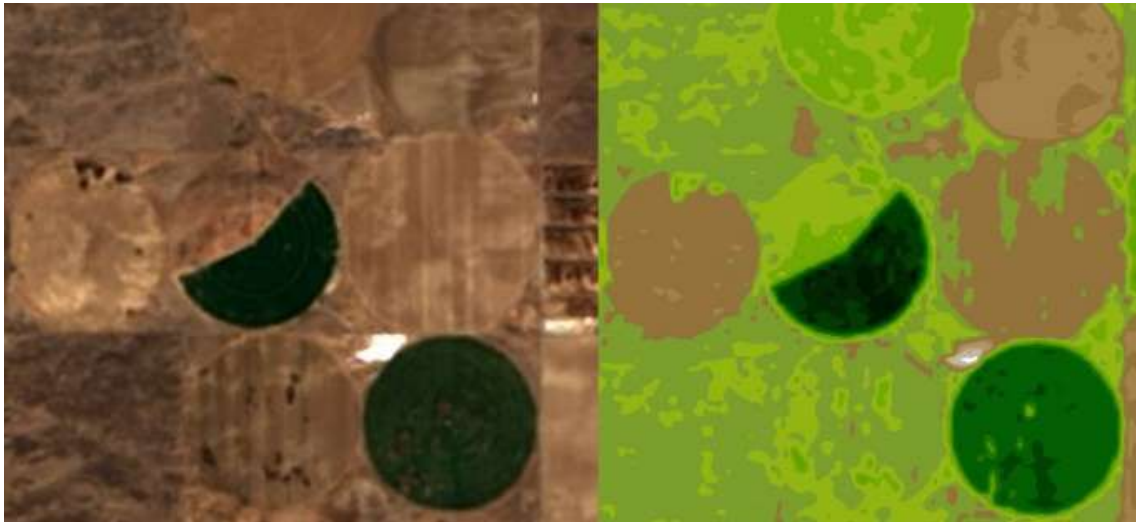


Рис. 1. RGB-композит (ліворуч) та NDVI-зображення (праворуч) фрагменту знімка Landsat 8

Покращення візуальної якості передбачає проведення паншарпенінга зображення індексу, для чого необхідно використовувати панхроматичний канал більш високої роздільної здатності, ніж використані при отриманні NDVI червоний і інфрачервоний канали. У разі застосування даних супутника Landsat 8 для отримання NDVI використовуються канали 5 (NIR) і 4 (RED) просторового розрізнення 30 м. Панхроматичний 8 канал цього сенсора має розрізнення удвічі вище – 15 м. Саме зображення індексу є одноканальним і тому далеко не всі алгоритми паншарпенінга можуть бути застосовані в даному випадку. Більше того, кожний з них має ті або інші недоліки, які можуть спотворювати результуюче зображення отриманого індексу. Наприклад, використання широко відомого Brovey Transform призводить до втрати просторової інформації з панхроматичного каналу [3].

Тому був розроблений алгоритм, який отримує ваги для паншарпенінга на основі інтерполяцій зображень каналів і проміжних обчислюваних вагових коефіцієнтів між цими інтерполяціями. Алгоритм цілком застосовний як для багатоканального (наприклад, паншарпенінг RGB) злиття зображень, так і для одноканального, як в даному випадку.

Отже, початковими даними для алгоритму є дві матриці, що містять значення яскравості пікселів панхроматичного зображення та зображення індексу однієї тієї ж ділянки місцевості, причому матриця з панхроматичними даними вдвічі більша, що обумовлено вищою роздільною здатністю. Алгоритм складається з наступних кроків.

1. Інтерполяція панхроматичної матриці до розмірів індексної (PAN_{05}).
2. Розрахунок першої матриці ваг полягає в діленні матриці початкового індексного зображення на результат середнього арифметичного між цією ж індексною матрицею та результатом першого кроку:

$$W_1 = \frac{2 \cdot MS}{PAN_{05} + MS}, \quad (2)$$

де MS – матриця початкового індексного зображення, PAN_{05} – матриця інтерпольованого до вдвічі меншого розміру панхроматичного зображення.

3. Інтерполяція результату першого кроку до вдвічі більших розмірів та ділення на нього панхроматичної матриці. Тобто, по суті здійснюємо обчислення ваг, що відображають викривлення зображення під час інтерполяцій.

$$W_2 = \frac{PAN}{PAN_{05 \times 2}}, \quad (3)$$

де PAN – матриця початкового панхроматичного зображення, $PAN_{05 \times 2}$ – матриця інтерпольованого до вдвічі меншого розміру панхроматичного зображення, яке потім було інтерпольоване до початкових розмірів.

4. Інтерполяція індексної матриці до розмірів панхроматичної (MS_{x2}).
5. Інтерполяція ваг з кроку 2 (W_1) до розмірів панхроматичної матриці ($W_{1 \times 2}$).

6. Обчислення кінцевих ваг шляхом перемноження ваг з кроків 3 та 5:

$$W_3 = W_2 \cdot W_{1x2}. \quad (4)$$

7. Обчислення кінцевого результату за наступною формулою:

$$PS = \frac{MS_{x2} + PAN}{2} \cdot W_3. \quad (5)$$

Таким чином, результуюча матриця обчислюється на основі середнього арифметичного панхроматичної матриці та індексної матриці, що була інтерпольована до розмірів панхроматичної. Результат середнього арифметичного домножується на синтезовану матрицю ваг, яка враховує в собі всі перетворення над початковими матрицями даних.

Як видно з кроків алгоритму, він потребує лише початкових зображень, що робить його більш застосовним та універсальним на відміну від того ж вищезгаданого Brovey Transform, який потребує конкретні значення ваг для кожного каналу. Зворотню стороною розробленого алгоритму є його критична залежність від застосованого методу інтерполяції. Так, інтерполяція кубічними сплайнами, яка в інших випадках є однією з найякісніших, дає занадто згладжене результуюче зображення, найпростіша інтерполяція методом ближнього сусіда – пікселізоване грубе зображення.

Результат паншарпенінга – це зображення індексу, яке на відміну від *RGB*, виходить візуально більше згладженим, а не чітким як очікувалося. Аналіз синтезованих зображень показує, що зображення індексу набагато грубіше за мультиспектральні, які були застосовані при його розрахунку. Тому при синтезі логічним кроком було встановити більший вплив саме панхроматичного каналу на результат. Цей аспект відчутно впливає на результат (див. рис. 2).

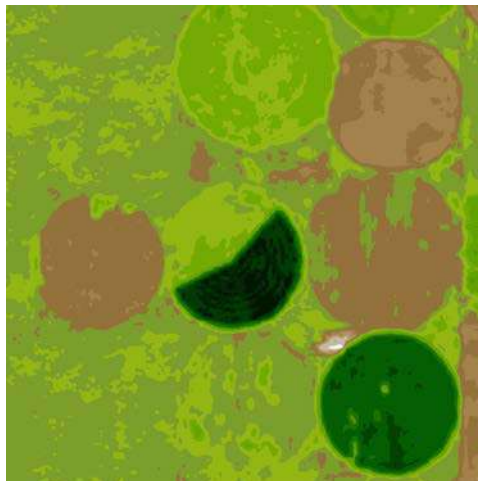


Рис. 2. *NDVI*-зображення після застосування алгоритму паншарпенінга

Стосовно обраного алгоритму інтерполяції, ґрунтуючись на проведених дослідях, оптимальною у даному випадку є бікубічна інтерполяція. Вона дає найменше викривлень на результуючому зображенні та максимально зберігає чіткість отриману з зображення панхроматичного каналу.

Висновки

Розроблено алгоритм паншарпенінга на основі інтерполяцій та обчислення вагових коефіцієнтів. На основі проведених експериментів визначено бікубічну інтерполяцію як найбільш ефективну з точки зору візуалізації. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення застосовності алгоритму з іншими індексними зображеннями.

Список використаної літератури

1. Alparone, L.; Aiazzi, B.; Baronti, S.; Garzelli, A. Remote Sensing Image Fusion; CRC Press, Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2015.
2. Choi J, Kim G., Park N., Park H., Choi S. A Hybrid Pansharpening Algorithm of VHR Satellite Images that Employs Injection Gains Based on NDVI to Reduce Computational Costs, Remote Sens. 2017, 9(10), 976; doi:10.3390/rs9100976.
3. Johnson, B. Effects of pansharpening on vegetation indices. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2014, 3, 507–522.
4. Schowengerdt, R.A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, 3rd ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2007.